

МОНИТОРИНГ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА

*С.Г. Алюшина¹, Д.Р. Гареева², О.Г. Морозов³,
С.А. Городилов³, А.А.Захаров³, М.И.Шайхуллин³*

¹ Чебоксары, ЧЭТС, fotos_al@mail.ru;

² Казань, КФ ПГУТИ, dilya-777@bk.ru;

³ Казань, КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева, microoil@mail.ru)

TWO FREQUENCY PROBING IN PON MONITORING

*S.G. Aliyushina, D.R. Gareeva, O.G. Morozov,
S.A. Gorodilov, A.A.Zaharov, M.I. Shayhullin*

Предложен новый метод мониторинга пассивных оптических сетей, основанный на использовании оптической рефлектометрии в частотной области с источником зондирования на базе перестраиваемого лазера с частотной обратной связью и формирователя двухчастотного излучения на базе модулятора Маха-Цендера, а также волоконных решеток Брэгга, структурированных по закону Канторова множества, применяемых в качестве меток ветвей сети и датчиков температуры в них.

При контроле волоконно-оптической сети ее конфигурация является важным фактором, определяющим выбор метода мониторинга. Пассивные оптические сети (PON) являются основным физическим уровнем для предоставления услуг по технологиям FTTx. Основная структура сети GE-PON (Gigabit Ethernet PON) и G-PON (Gigabit-PON), определяется некоторым числом сетевых клиентов, условно обозначаемых как оптические сетевые терминалы (ONT), которые связаны с центральным офисом, в котором установлен оптический линейный терминал (OLT) по оптическому волокну (IEEE 802.3ah, ITU-T G984.1). Революционное развитие технологии FTTx не позволяет более игнорировать стоимость эксплуатации, управления и обслуживания PON сетей, и требует ее учета на том же приоритетном уровне, как и стоимость строительства. Регламенты обслуживания оптического волокна и кабельных сооружений обсуждаются в рекомендациях ITU-T SG6 и SG7 L.25, L.40, L.41, L.53, L.66, L.68 и L.85. Рекомендации L.25 и L.53 описывают необходимость функции обслуживания оптического волокна на уровне профилактики и послеаварийного восстановления. Мониторинг волокон и локализация дефектов по их длине и разветвлениям необходимы как основные функции обеспечения PON сетей, позволяющих сократить как время поиска неисправностей, так и человеческих ресурсов при ремонте поврежденного кабеля. Следует отметить, что, несмотря на наличие указанных рекомендаций, какие-либо стандартизированные методы и средства мониторинга PON сетей на сегодняшний день отсутствуют [1].

Универсальная система мониторинга оптических волокон использует метод оптической рефлектометрии во временной области (OTDR). Поскольку PON содержит в своей структуре пассивные разветвители мощности, установленные рядом с ONT, классическое тестирование сети, где OTDR установлен в центральном офисе, не эффективно. В этом случае рэлеевские сигналы обратного рассеяния от всех разветвленных оптических волокон накапливаются в общем сигнале и становятся в некоторых случаях не распознаваемыми. Метод, заключающийся в установке OTDR на ONT, достаточно эффективен, но при обрыве волокна информация об аварии не может быть передана на OLT.

Предложенные специальные методы OTDR для работы с разветвленными сетями заключаются в использовании оптических циркуляторов и коммутаторов, а также учете, например, величины потерь, уникальной для линии связи с конкретным ONT или использования многоволнового зондирования с мониторингом каждого волокна по уникальной длине волны, или использования бриллюэновского OTDR для анализа бриллюэновского отклика, уникального для каждого конкретного волокна и полученного за счет использования определенного количества примесей, добавленных в них при изготовлении. Однако данные методы либо трудно реализуемы на практике, либо очень дорогостоящи [2].

Учитывая вышесказанное на первый план выходят методы, заключающиеся в маркировании отдельных каналов PON коммерчески доступными, недорогими средствами, например, отражателями, расставленными по временной шкале за счет волоконных вставок на определенную задержку уникальную для каждого ONT, интерферометрическими узлами с уникальной фазовой разницей между плечами, и, наконец, волоконными решетками Брэгга (ВРБ) с уникальной длиной волны отражения. При этом использование ВРБ предпочтительно, поскольку они позволяют дополнительно получить температурное распределение на каждом ONT и проводить мониторинг не только канала связи по целостности, но и по климатическим условиям, которые существенно определяют его спектральные характеристики [2].

Для мониторинга PON сети должно выполняться требование спектрального разделения каналов передачи информации и каналов тестирования. Поэтому центральные длины волн решеток Брэгга, используемых в системе мониторинга, должны находиться вне спектрального диапазона передаваемой информации и устанавливаться перед ONT. По рекомендациям ITU-T L-диапазон, который простирается до 1625 нм, используется для DWDM/CWDM передачи. По рекомендации G.983 поддиапазон 1480-1580 нм (в S-диапазоне) предназначен для связи OLT и ONT в G-PON сетях и передачи дополнительных сервисных сигналов для мониторинга при их одновременном распространении. Кроме того, U-диапазон 1625-1675 нм можно использовать в качестве отдельного диапазона для мониторинга.

Переход к спектральным методам мониторинга целостности PON и измерения температуры на ONT логично приводит к необходимости перехода от OTDR к методу рефлектометрии в частотной области OFDR. Тем более, что при использовании мощных коротких импульсов для зондирования волокна возникают различные по природе нелинейные явления, сказывающиеся на качестве обслуживания, поскольку затрагивают спектральную область передачи данных. При уменьшении мощности импульсов зондирования возникает проблема динамического диапазона измерений. Современный уровень технологий и техники рефлектометрии в частотной области позволяет использовать лазеры с частотной обратной связью, модуляторы Маха-Цендера и методы двухчастотной рефлектометрии для мониторинга отдельных каналов и контроля температуры в их ONT.

Фактически измерение температуры на ONT сводится к определению сдвига центральной длины волны ВРБ. В данной работе для зондирования ВРБ будем использовать двухчастотное излучение с амплитудами $R_1=R_2$ и противоположными фазами $\varphi_{R_1} = -\varphi_{R_2}$, полученное по способу Ильина-Морозова в модуляторе Маха-Цендера [3], отличающееся как высокой спектральной чистотой и стабильностью при допустимом изменении параметров формирования, так и возможностью простой перестройки разностной частоты для использования с различными по характеристикам ВРБ. Указанные обобщенные характеристики удовлетворяют требованиям к построению источников зондирующих излучений для волоконно-оптических сенсорных сетей. В качестве методики измерительного преобразования выберем анализ характеристик огибающей прошедшего через или отраженного от ВРБ двухчастотного излучения. При смещении контура ВРБ, вызванного приложением физических полей, появляется неравенство амплитуд $R_1 \neq R_2$ и изменение фазовых соотношений между составляющими двухчастотного излучения $\varphi_{R_1} \neq \mp \varphi_{R_2}$. Вид неравенства определяется направлением сдвига контура ВРБ, т.е. увеличением или уменьшением параметра приложенного поля.

Литература

1. Honda, Nazuki. In-Service Line Monitoring for Passive Optical Networks / *Optical Fiber Communications and Devices*. INTECH OAP, 2012. – P. 203 – 218.
2. Zou, Nianyu et al. Fault Location for Branched Optical Fiber Networks based on OFDR Technique Using FSF Laser as Light Source / *OFC/NFOEC-2007*. – P. 1 – 3.
3. Morozov, O.G. et al. Synthesis of Two-frequency Symmetrical Radiation and its Application in Fiber Optical Structures Monitoring / *Optical Fiber Sensors. Book 1*, INTECH OAP, 2012. P. 137 – 164.